

Optimasi Aliran Daya Satu Phasa Pada Sistem Distribusi Radial 33 Bus IEEE dan Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh Untuk Meminimasi Kerugian Daya dan Deviasi Tegangan Menggunakan Kapasitor

Achmad Erfan Prihadana, Ontoseno Penangsang, Ni Ketut Aryani

Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknologi Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

Jl. Arief Rahman Hakim, Surabaya 60111 Indonesia

e-mail: ontosep@ee.its.ac.id, ketut.aryani@ee.its.ac.id, erfanprihadana31@gmail.com.

Abstrak—Kebutuhan akan energi listrik terus meningkat seiring dengan perkembangan teknologi dan penambahan penduduk. Sedangkan kualitas sistem distribusi tenaga listrik yang semakin kompleks dan luas masih memiliki kekurangan yang menyebabkan deviasi tegangan dan kerugian daya terus meningkat. Untuk menjaga atau meningkatkan level tegangan menurunkan jumlah rugi daya pada sistem distribusi radial, terdapat teknik-teknik seperti pemasangan kapasitor yang tepat pada jaringan distribusi radial. Pada tugas akhir ini dilakukan penelitian tentang pemasangan kapasitor dengan menggunakan metoda *Particle Swarm Optimization* (PSO) untuk meminimalkan deviasi tegangan dan meminimalkan kerugian daya dengan fungsi normalisasi yang diujikan pada sistem distribusi IEEE 33 bus dan sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh. Dari hasil pengujian yang diperoleh, metode yang paling efektif dalam menentukan nilai dan lokasi kapasitor untuk memperoleh rugi daya aktif dan deviasi tegangan adalah metode $w_1=0,3$ dan $w_2=0,7$. Pada basis sistem 33 bus IEEE, rugi daya aktif pada sistem menjadi sangat minimal yakni sebesar 139.82 KW dan deviasi tegangan pada sistem menjadi sangat minimal yakni sebesar 860.6 volt. Pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh rugi daya aktif pada sistem menjadi sangat minimal yakni sebesar 640.01 KW dan deviasi tegangan 669,1 volt.

Kata Kunci—Kerugian daya, deviasi tegangan, penempatan kapasitor, *particle swarm optimization* (PSO).

I. PENDAHULUAN

SISTEM tenaga listrik satu phasa untuk terjaga dengan baik, maka kualitas dari sistem kelistrikannya harus terhindar dari kerusakan peralatan-peralatan listrik. Hal ini diinginkan oleh konsumen terutama di industri karena dengan kualitas sistem tenaga listrik baik maka produksi daya yang diberikan ke beban bisa maksimal sehingga produksi yang dihasilkan bisa maksimal dan biaya produksi bisa seminimal mungkin [2]. Tetapi memperoleh tegangan yang konstan pada sistem kelistrikan sangat sulit menemukannya bahkan tidak ada, dikarenakan adanya kerugian daya dari sistem tersebut. Sehingga diperlukan *Optimal Power Flow* di sistem tersebut untuk mengurangi biaya produksi [3].

Pada beberapa penelitian yang ada, *optimal power flow* (OPF) digunakan pada jaringan distribusi dengan sumber PLN dan pembebanan mengikuti *feeder* dari PLN menurut jaringan

distribusi PLN. Penelitian ini, dilakukan dengan menggunakan beban sesuai kondisi dari PT. Semen Indonesia di Aceh dengan sumber PLN. OPF yang dilakukan melalui sumber dari *slack bus* dan dikarenakan distribusi yang diaplikasikan pada sistem 33 bus IEEE dan 69 bus sistem PG & E. Penelitian ini menggunakan metode memaksimalkan daya aktif dari *output Distributed Generation* (DG) [4].

Metode yang dilakukan ini digunakan untuk mencari letak kapasitor dan nilai kapasitor pada bus tertentu sehingga menghasilkan deviasi tegangan dan kerugian daya yang paling minimal. Dari pembahasan diatas maka didapat kesimpulan sementara yaitu dalam meminimalkan deviasi tegangan dan kerugian daya untuk optimisasi aliran daya dengan menggunakan perancangan kapasitor yang tepat pada sistem distribusi radial dalam kondisi seimbang di suatu industri yaitu PT. Semen Indonesia Aceh dan tes sistem 33 Bus IEEE.

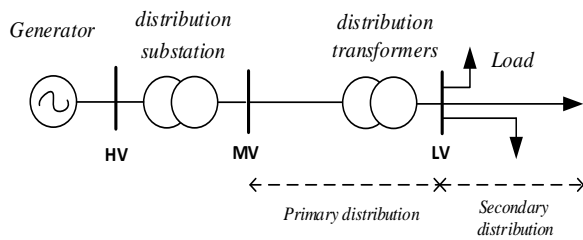
II. TINJAUAN PUSTAKA

A. Jaringan Distribusi Sistem Radial

Ringan distribusi sistem radial ditandai dengan adanya satu jalur pengiriman tenaga listrik mulai dari sumber gardu induk ke pelanggan. Sistem distribusi radial terdiri dari satu atau lebih trafo distribusi dan memiliki cabang-cabang menuju beban. Sistem ditribusi radial adalah suatu jenis penyaluran daya pada suatu sistem kelistrikan. Sistem ini sering digunakan pada sistem kelistrikan, dikarenakan sebagai berikut [5]:

1. Pengamanan terhadap arus gangguan lebih mudah.
2. Arus gangguan lebih kecil.
3. Pengaturan tegangan lebih mudah.
4. Lebih mudah meramalkan dan mengatur aliran daya.
5. Biaya lebih murah.
6. Bentuknya sederhana.

Dari keuntungan diatas, banyak kelistrikan sistem kelistrikan pabrik menggunakan sistem ini. Pada Gambar 1 merupakan gambar single line diagram jaringan distribusi radial.



Gambar 1 Jaringan sistem distribusi radial

B. Rugi Daya

Pada dasarnya kerugian daya pada disebabkan oleh aliran arus yang diakibatkan arus beban pada bus yang terhubung yang mengalir pada saluran sehingga dengan perhitungan pada aliran daya maka kerugian daya dapat dirumuskan sebagai berikut [1]:

$$P_{loss}(k, k+1) = |I_k| \times R_k = R_k \times \left(\frac{P_k^2 + Q_k^2}{|V_k|^2} \right) \quad \forall k = n \quad (1)$$

Adapun cara yang umum dipakai untuk mengatasi rugi daya pada saluran sistem distribusi salah satunya ialah dengan pemasangan *capacitor bank*.

C. Deviasi Tegangan

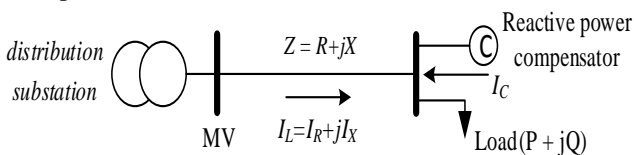
Deviasi tegangan adalah penyimpangan tegangan dengan adanya *over-voltage* atau *under-voltage* antara bus pertama (acuan) dengan bus lainnya dalam satu *feeder* [6,7]. Dengan meminimalkan deviasi tegangan dapat meningkatkan level atau kualitas tegangan menjadi lebih baik dan sekaligus meningkatkan kualitas daya pada sistem distribusi. Secara rumusan deviasi tegangan sebagai berikut :

$$\Delta \text{Deviasi Tegangan} = \max \frac{V_1 - V_k}{V_1} \quad \forall k = 1, 2, \dots, n \quad (2)$$

Dimana V_1 adalah nilai tegangan bus pertama (acuan), V_k dan k adalah nilai tegangan dari tegangan bus lain dan nomor bus.

D. Penempatan Kapasitor

Prinsipnya untuk mengatur tegangan dan meningkatkan kualitas tegangan bus yaitu melalui kapasitor yang dipasang paralel pada bus-bus distribusi sepanjang saluran atau pada gardu induk dan beban. Pada dasarnya kapasitor merupakan peralatan untuk menghasilkan daya reaktif pada titik mana kapasitor tersebut dipasang. Apabila kapasitor dipasang paralel dengan beban yang memiliki faktor daya yang tertinggal, kapasitor adalah sumber dari sebagian atau semua daya reaktif yang dibutuhkan beban. Dengan demikian, kapasitor mengurangi arus saluran yang mengalir menuju beban dan mengurangi tegangan jatuh pada saluran yang dapat diamati pada Gambar 2.



Gambar 2 Pemasangan kapasitor secara paralel

Drop tegangan sebelum dipasang kapasitor:

$$\Delta V_d = I_L \cdot Z \quad (3)$$

$$\Delta V_d = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L \quad (4)$$

Drop tegangan setelah dipasang kapasitor secara paralel:

$$\Delta V_d = I_R \cdot R + jI_X \cdot X_L - jI_C \cdot X_L \quad (5)$$

Dimana I_L adalah arus saluran, Z adalah impedansi, I_C adalah arus dari kapasitor dan ΔV_d adalah jatuh tegangan.

E. Particle Swarm Optimization

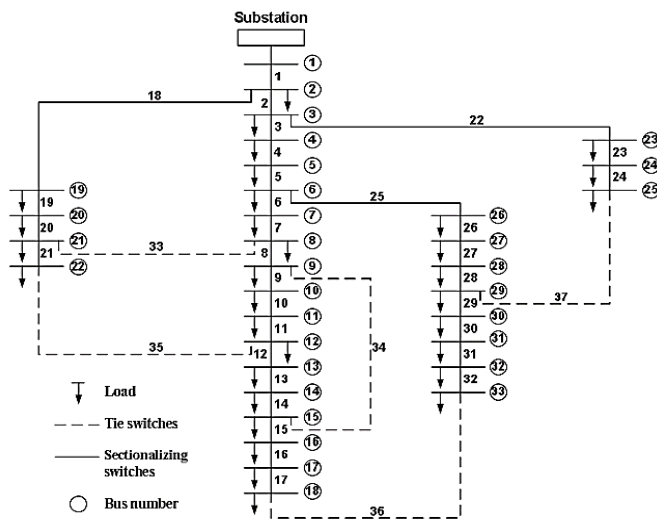
Metode ini adalah suatu metode optimasi yang dikembangkan oleh Kennedy dan Eberhart, dimana metodenya didasarkan pada sebuah perilaku dari sebuah kumpulan burung atau serangga (hewan) [6]. Dimana perilaku dari sebuah kumpulan hewan ini ada 2 yaitu perilaku sosial dan perilaku individu. Pengaruh perilaku sosial ini juga dapat mempengaruhi perilaku masing-masing individu pada sebuah organisme. Maka bisa dikatakan bahwa perilaku sosial terdiri dari perilaku individu dan pengaruh dari individu-individu lainnya [7].

Metoda *Particle Swarm Optimization (PSO)* dapat membantu memecahkan permasalahan dalam sistem tenaga di bidang optimasi. Pembangkitan awal pada PSO diawali oleh pembangkitan acak yang nantinya disesuaikan dengan kecepatan dan posisi partikel. Kemudain akan mencari solusi dan *fitness* terbaik sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan. Pembangkitkan secara acak dan kemudian akan dipilih melalui nilai *fitness* terbaik dari *Pbest* dan *Gbest*. Hasil dari operasi nilai *fitness* tersebut akan dievaluasi sesuai dengan fungsi objektif yang digunakan sehingga didapatkan variabel yang akan diikuti proses perulangan. Proses PSO akan berhenti ketika sudah mencapai iterasi maksimum yang ditentukan. Berikut ini adalah bentuk umum langkah-langkah dalam perancangan algoritma dengan metode optimasi ini.

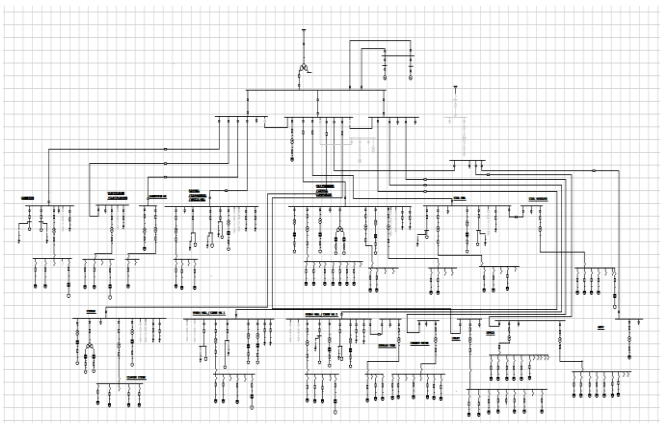
1. Inisialisasikan parameter-parameter PSO.
2. Membentuk posisi partikel awal dan kecepatan partikel awal.
3. Menghitung nilai fungsi objek (*fitness*).
4. Update posisi partikel dan kecepatan partikel.
5. Mendapatkan posisi terbaik lokal dan posisi terbaik global.
6. Membandingkan fungsi objek lama dengan fungsi objek baru.
7. Apabila sudah mencapai iterasi maksimum akan berhenti.

III. PERANCANGAN DAN PEMODELAN OPTIMASI

A. Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus



Gambar 3 Sistem Distribusi Radial IEEE 33 Bus



Gambar 4 Sistem Kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh

Pada tugas akhir ini menggunakan 2 sistem yaitu sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh. Sistem distribusi radial IEEE 33 bus terdiri dari 33 bus dan 5 *tie switch*. Secara keseluruhan jumlah beban aktif dan reaktif pada sistem distribusi IEEE 33 bus adalah 3.715 MW dan 2,3 MVar. Jumlah beban aktif dan reaktif pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh adalah 41.38 MW dan 36.069 MVar. Single line diagram sistem distribusi radial IEEE 33 bus dapat dilihat pada Gambar 3 di atas dan single line diagram sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh dapat dilihat pada Gambar 4.

B. Kasus Optimasi

Pada tugas akhir ini, akan dibahas mengenai simulasi dan analisis terhadap sistem distribusi radial 33-bus standar IEEE dengan 6 kasus yang berbeda, yakni:

- Kasus A : basis sistem (*original*, tanpa optimasi)
- Kasus B : pemasangan 5 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,7$ dan $w_2=0,3$
- Kasus C : pemasangan 5 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,3$ dan $w_2=0,7$
- Kasus D : pemasangan 5 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,5$ dan $w_2=0,5$
- Kasus E : pemasangan 4 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,5$ dan $w_2=0,5$

- Kasus F : pemasangan 3 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,5$ dan $w_2=0,5$

Pada tugas akhir ini juga akan dibahas mengenai simulasi dan analisis terhadap sistem distribusi radial sistem kelistrikan PT Semen Indonesia Aceh dengan 6 kasus yang berbeda, yakni:

- Kasus A : basis sistem (*original*, tanpa optimasi)
- Kasus B : pemasangan 15 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,7$ dan $w_2=0,3$
- Kasus C : pemasangan 15 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,3$ dan $w_2=0,7$
- Kasus D : pemasangan 15 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,5$ dan $w_2=0,5$
- Kasus E : pemasangan 14 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,5$ dan $w_2=0,5$
- Kasus F : pemasangan 13 kapasitor dengan pembobotan $w_1=0,5$ dan $w_2=0,5$

C. Fungsi Objektif

Fungsi Objektif adalah tujuan dari optimasi atau hasil yang ingin dicapai, fungsi objektif pada tugas akhir ini adalah meminimalkan deviasi tegangan yang dirumuskan sebagai berikut:

Fungsi objektif pertama,

$$\text{Minimize } P_{T,loss} = \sum_{k=1}^{nb} \frac{R_{k,k+1}}{|V_k|^2} (P_k^2 + Q_k^2) \quad (6)$$

Dimana,

$P_{T,loss}$ total rugi daya aktif pada seluruh saluran di sistem

n jumlah bus yang ada pada sistem

Fungsi objektif kedua,

$$\text{Minimize Deviasi Tegangan} = \sum_{k=1}^{nb} \frac{V_1 - V_k}{V_1} \quad (7)$$

Dimana V_1 adalah nilai tegangan bus pertama (acuan), V_k dan k adalah nilai tegangan dari tegangan bus lain dan nomor bus. Dua fungsi obyektif ini akan didekati menggunakan satu fungsi obyektif melalui fungsi optimasi dari normalisasi *multiple objective function* sebagai berikut [8]:

$$\min F(x) = w_1 F_1(x)/F_1^0 + w_2 F_2(x)/F_2^0 \quad (8)$$

Dimana, $\min F(x)$ adalah fungsi normalisasi dari dua fungsi obyektif w_1 dan w_2 adalah faktor pembobotan dari setiap fungsi obyektif, $w_1 + w_2 = 1, w_i > 0 (i = 1,2,3)$, F_1 dan F_2 adalah fungsi obyektif dari fungsi yang akan dioptimasi, F_1^0 dan F_2^0 adalah nilai setiap fungsi obyektif sebelum dioptimasi.

D. Constraint (Batasan)

Pada tugas akhir ini ada beberapa kriteria atau *constraint* yang harus dipenuhi:

Constraint tegangan

$$0.95 \text{ pu} \leq V_i \leq 1.05 \text{ pu}$$

Constraint injek daya reaktif (Q MVar) dari kapasitor

$$\sum_{i=1}^{N_c} Q_c(i) + \sum_{i=1}^{N_{DG}} Q_{DG}(i) \leq \sum_{j=2}^n Q_D(j)$$

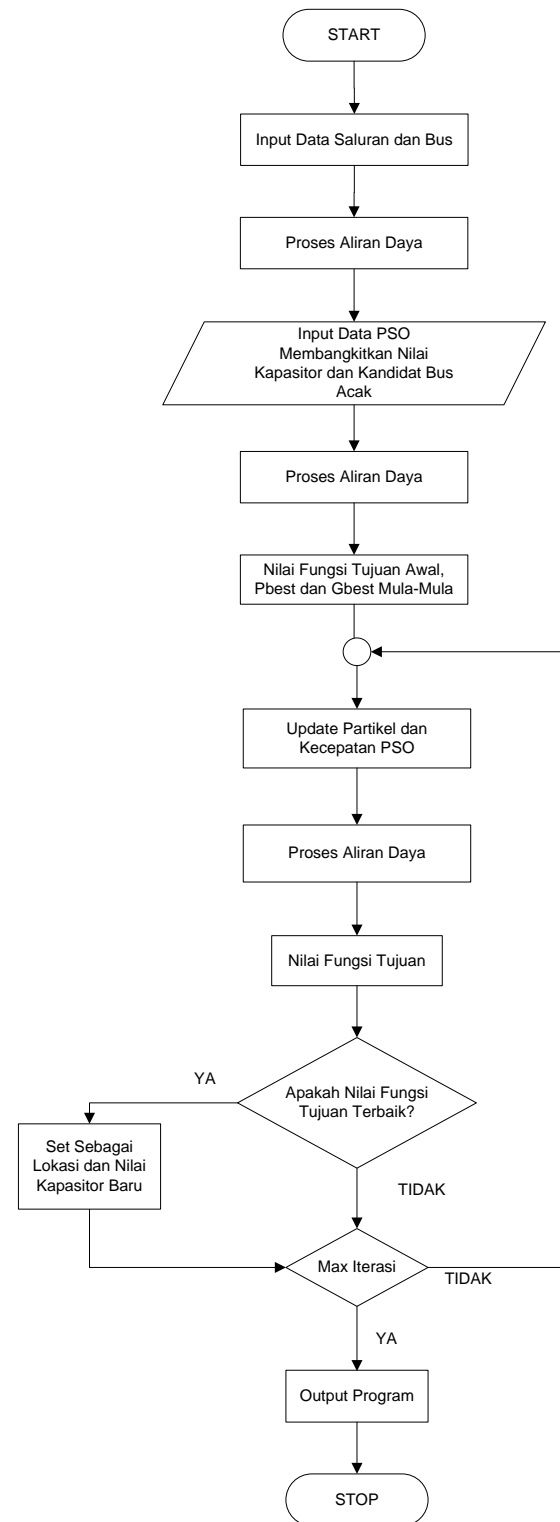
E. Desain Optimasi PSO

Berikut adalah tabel perancangan komponen dan parameter PSO untuk meminimalkan rugi daya dan deviasi tegangan pada sistem distribusi radial:

Tabel 1
Representasi Komponen dan Parameter PSO untuk meminimalkan rugi daya dan deviasi tegangan

PSO	Uraian
Variabel	Kapasitor (Penempatan dan kapasitas daya reaktif yang diinjeksikan)
Partikel	Jumlah partikel dalam satu kelompok (Banyak Solusi) = 80
Objective Function	Tujuan Optimasi: Minimal Rugi Daya dan Deviasi Tegangan
Max Iterasi	Jumlah perulangan = 100
Learning Rates	Proses Pembelajaran = 2
Weight Inersia	Bobot dalam kecepatan dan posisi partikel PSO = 0,4 – 0,9

Dalam metode *Particle Swarm Optimization* (PSO) terdapat beberapa komponen dan parameter yang disesuaikan dengan permasalahan atau optimasi yang akan dilakukan. Pada Gambar 5 adalah daigram alir optimasi menggunakan PSO.



Gambar 5 Diagram Alir Optimasi Menggunakan PSO

F. Proses Optimasi Menggunakan Particle Swarm Optimization (PSO)

Secara garis besar, proses optimasi menggunakan *Particle Swarm Optimization* (PSO) dilakukan dengan langkah sebagai berikut:

1. Pembacaan data saluran dan data bus

Proses pertama ini adalah adalah pembacaan data sistem distribusi radial IEEE 33 bus dan sistem kelistrikan PT. Semen

Indonesia Aceh berupa line data dan bus data. Kemudian parameter PSO dan parameter lainnya.

2. Load flow awal (kasus A)

Hal ini dilakukan untuk mengetahui keadaan awal sistem sebelum dilakukan optimasi. Sehingga didapatkan rugi daya dan deviasi tegangan awal, jumlah daya reaktif (MVar) dan daya aktif (MW) sistem. Yang mana kedua nilai ini akan digunakan sebagai nilai pembandingan dan nilai batasan injeksi daya kapasitor.

3. Membangkitkan Awal

Ukuran partikel yang dibangkitkan sesuai dengan keinginan, misalnya 10, 20, 50 dan seterusnya. Partikel dibangkitkan secara acak yang mana bernilai angka biner nol dan satu.

4. Konfigurasi Penentuan Nilai dan Lokasi Kapasitor Bank

Penentuan nilai dan lokasi kapasitor bank yaitu melalui membuat rak nilai kapasitor dan lokasi kapasitor secara acak. Pembuatan rak kapasitor dan lokasinya ini berjumlah sama dengan nilai partikel yang digunakan pada inisiasi awal PSO.

5. Update Kecepatan dan Nilai Partikel

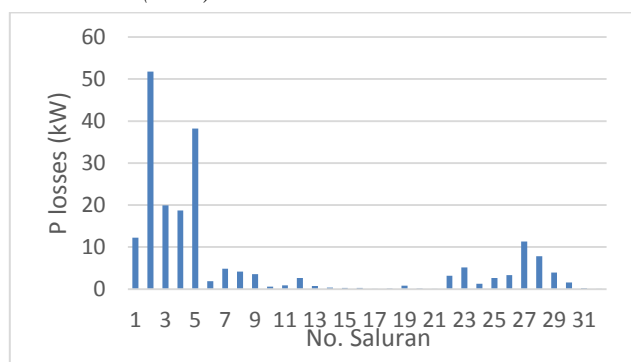
Update nilai partikel dan kecepatan PSO ini merupakan tahap untuk mengganti nilai dari kapasitor dan rak yang akan diisi kapasitor. Pada tahap penentuan update kecepatan ini terdapat dua bagian yang harus diupdate yaitu nilai dari kapasitor dan lokasi bus yang akan diisi kapasitor yang telah diupdate.

6. Fitness terbaik

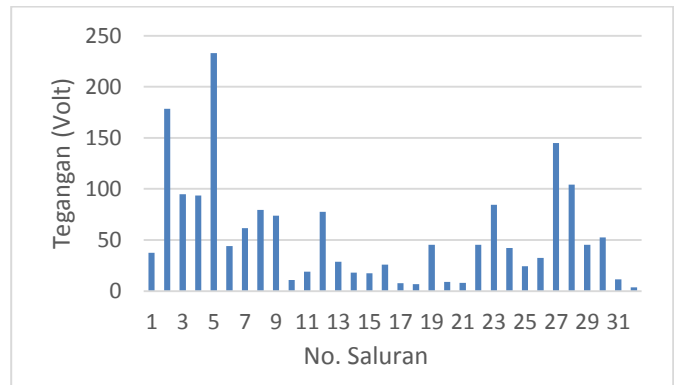
Setelah melakukan update kecepatan dan nilai partikel maka dilakukan pemilihan individu yang memiliki *fitness* terbaik berdasarkan batasan (*constraint*) yang ada. Sehingga individu yang akan dipilih nantinya merupakan individu yang sudah memenuhi kriteria atau *constraint* dan memiliki *fitness* terkecil. Di dalam individu ini sudah terdapat solusi dari kasus optimasi yang dilakukan.

IV. SIMULASI DAN ANALISA

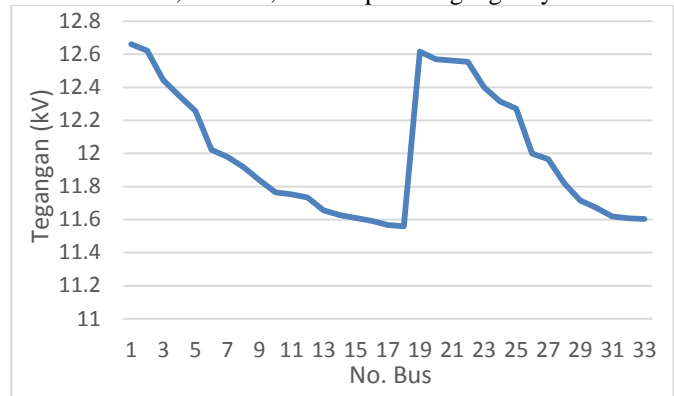
A. Kasus A (Base) Sistem Distribusi Radial 33 Bus



Gambar 6 Grafik rugi daya aktif pada kasus A 33 bus IEEE

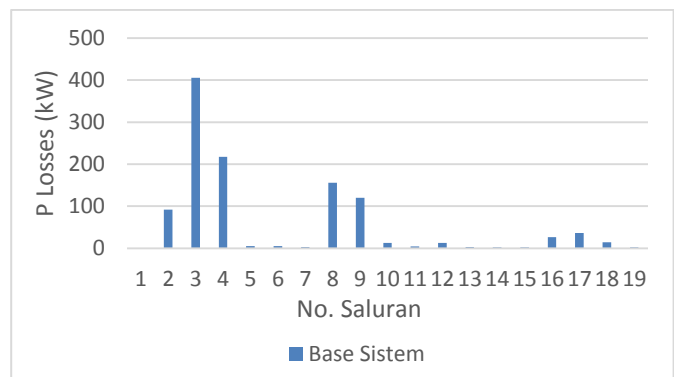


Gambar 7 Grafik deviasi tegangan pada kasus A 33 bus IEEE
Keadaan awal sistem IEEE 33 Bus adalah dengan total rugi daya aktif mencapai nilai 202,7 kW dan deviasi tegangan minimum 1760,738 volt, berikut profil tegangannya:

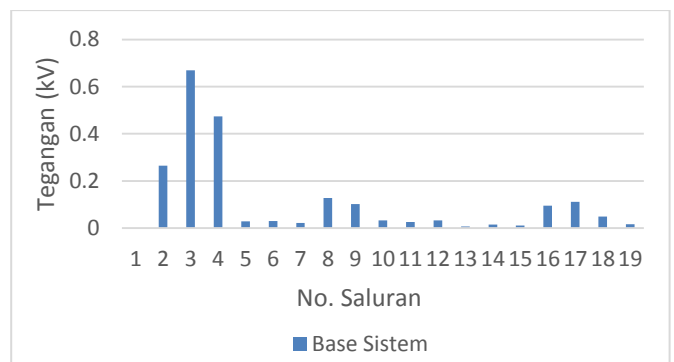


Gambar 8 Profil tegangan awal Sistem IEEE 33 bus

B. Kasus A (Base) Sistem Distribusi PT. Semen Indonesia Aceh

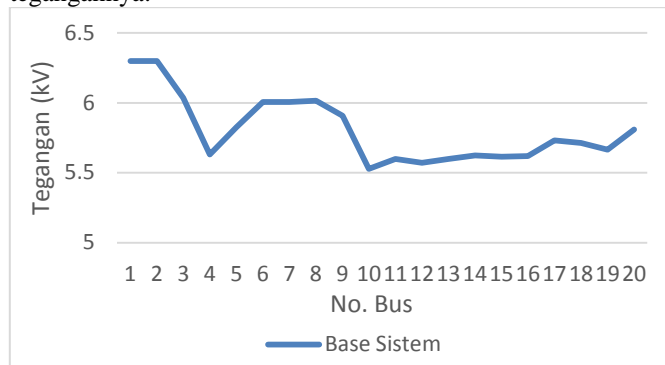


Gambar 9 Grafik rugi daya aktif kasus A pabrik semen Aceh



Gambar 10 Grafik deviasi tegangan kasus A pabrik semen Aceh

Keadaan awal sistem PT. Semen Indonesia Aceh adalah dengan total rugi daya aktif mencapai nilai 1118,941 kW dan deviasi tegangan minimum 2.114 kV, berikut profil tegangannya:



Gambar 11 Profil tegangan awal pabrik semen Aceh

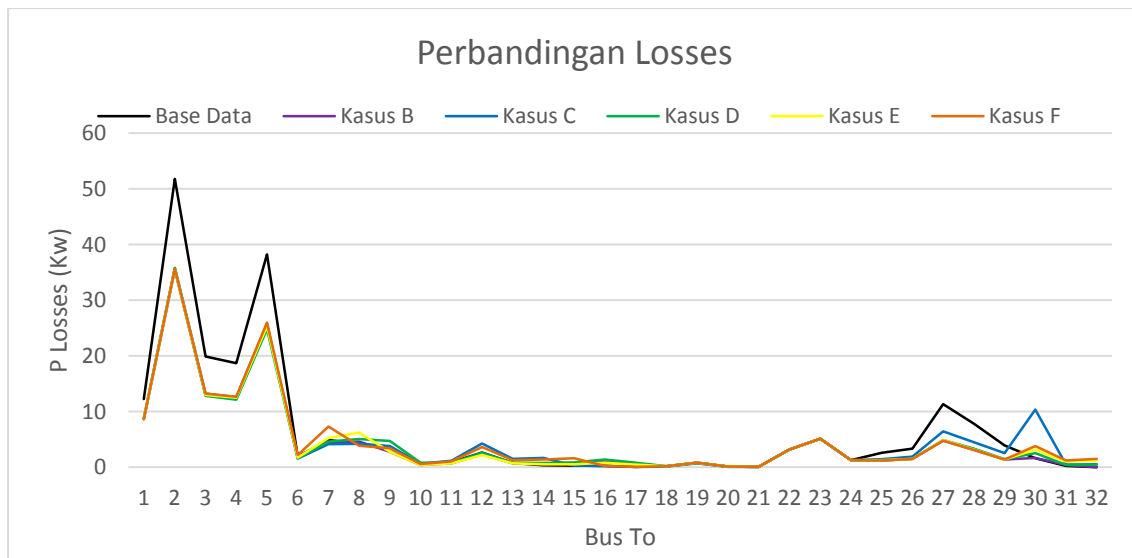
C. Kasus B, C, D, E, dan F Sistem

Pada kasus sistem 33 bus IEEE yaitu pada kasus B optimasi dilakukan dengan menggunakan 5 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,7$ dan $w_2 = 0,3$ dimana menghasilkan total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 139,829 kW dan deviasi tegangan sebesar 1.0247 kV. Pada kasus C optimasi dilakukan dengan menggunakan 5 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,3$ dan $w_2 = 0,7$ dimana menghasilkan total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 157,907 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,8606 kV. Pada kasus D optimasi dilakukan dengan menggunakan 5 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,5$ dan $w_2 = 0,5$ dimana total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 145,3508 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,9524 kV. Pada kasus E optimasi dilakukan dengan menggunakan 4 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,5$ dan $w_2 = 0,5$ dimana Total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 145,4232 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,9867 kV. Pada kasus F optimasi dilakukan dengan menggunakan 3 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,5$ dan $w_2 = 0,5$ dimana Total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 145,4232 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,9867 kV.

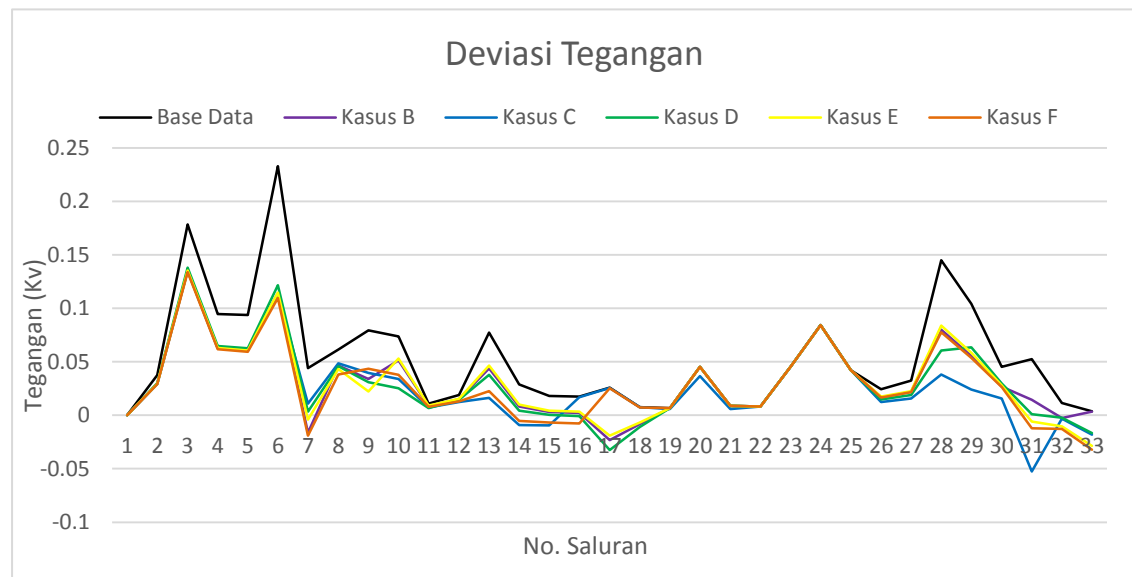
Pada kasus sistem PT. Semen Indonesia Aceh optimasi dilakukan dengan menggunakan 15 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,7$ dan $w_2 = 0,3$ dimana menghasilkan total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 640,0126 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,9845 kV. Pada kasus C optimasi dilakukan dengan menggunakan 15 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,3$ dan $w_2 = 0,7$ dimana menghasilkan total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 693,877 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,66915 kV. Pada kasus D optimasi dilakukan dengan menggunakan 15 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,5$ dan $w_2 = 0,5$ dimana total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 669,1161 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,8284 kV. Pada kasus E optimasi dilakukan dengan menggunakan 14 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,5$ dan $w_2 = 0,5$ dimana Total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 682,0469 kW dan deviasi tegangan sebesar 0,8959 kV. Pada kasus F optimasi dilakukan dengan menggunakan 13 kapasitor dengan pembobotan $w_1 = 0,5$ dan

$w_2 = 0,5$ dimana Total rugi daya aktif yang dihasilkan dari simulasi ini sebesar 675,349 kW dan deviasi tegangan sebesar 1,0374 kV.

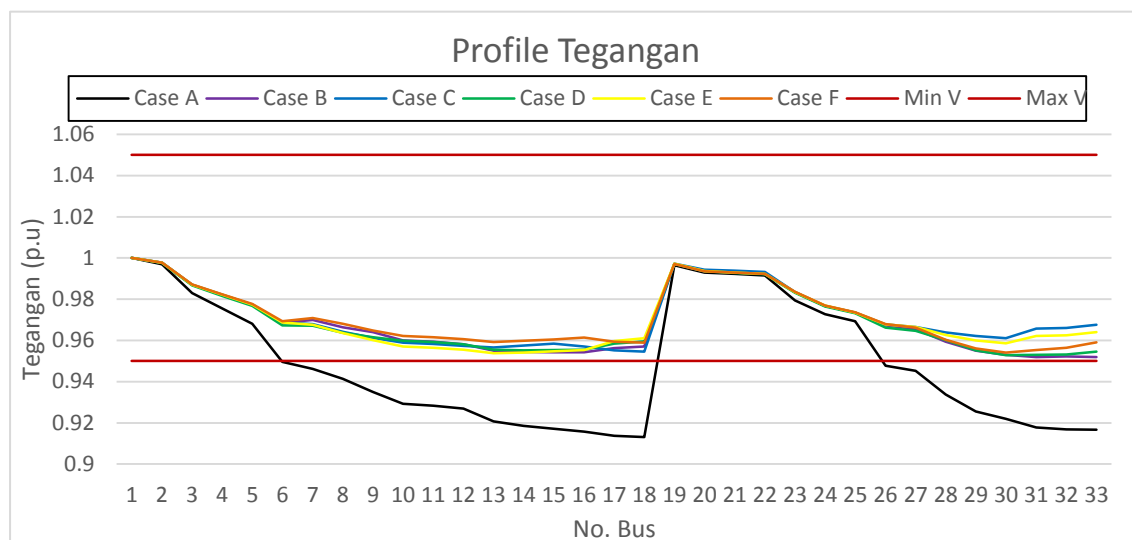
Pemasangan kapasitor akan mengurangi suplai daya reaktif dari sumber, sehingga mengurangi arus yang mengalir pada saluran yang menyebabkan drop tegangan akan berkurang. Hal ini akan mengurangi selisih tegangan setiap bus dengan kata lain deviasi tegangannya akan semakin kecil.



Gambar 12 Perbandingan rugi daya kasus A, B, C, D, E, dan F pada sistem IEEE 33



Gambar 13 Perbandingan deviasi tegangan kasus A, B, C, D, E, dan F pada sistem IEEE 33



Gambar 14 Perbandingan profile tegangan kasus A, B, C, D, E, dan F pada sistem IEEE 33

D. Perbandingan Hasil Simulasi

Tabel 2
Perbandingan optimasi setiap kasus

Pembanding	Kasus B	Kasus C	Kasus D	Kasus E	Kasus F
Fungsi Normalisasi	0.657	0.575	0.628	0.638	0.638
Rugi Daya Aktif (kW)	139.8	157.9	145.3	145.4	151.6
Deviasi Tegangan (kV)	1.024	0.860	0.952	0.986	0.930
Jumlah Kapasitas Kapasitor (MVAR)	2.018	2.196	1.894	2.021	2.213

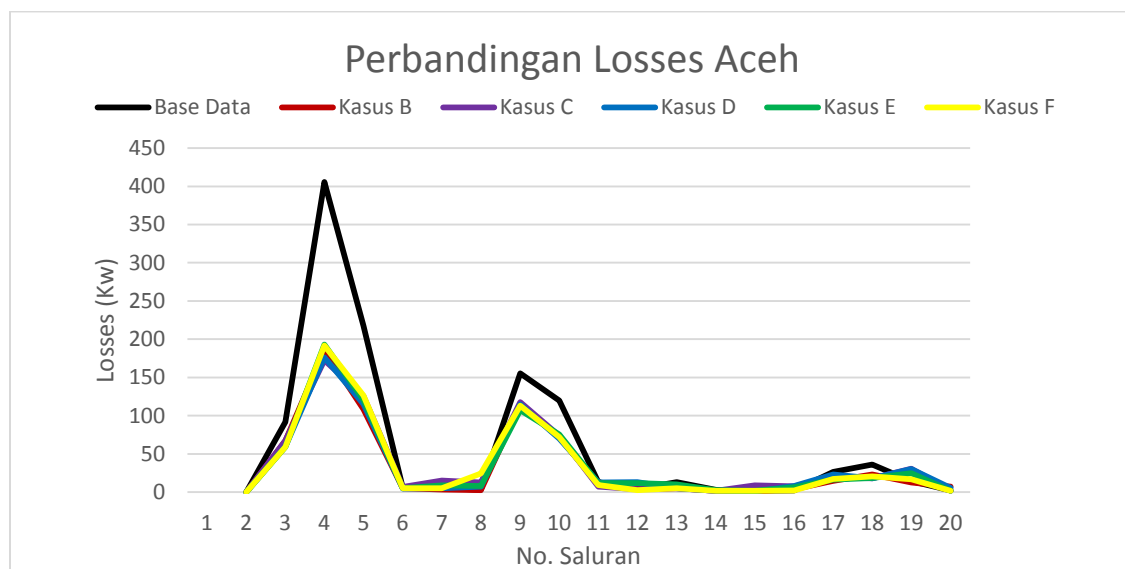
Tabel 3
Perbandingan optimasi kasus pabrik semen Aceh

Pembanding	Kasus B	Kasus C	Kasus D	Kasus E	Kasus F
Fungsi Normalisasi	0.540	0.407	0.494	0.516	0.547
Rugi Daya Aktif (kW)	640.0	693.8	669.1	682.0	675.3

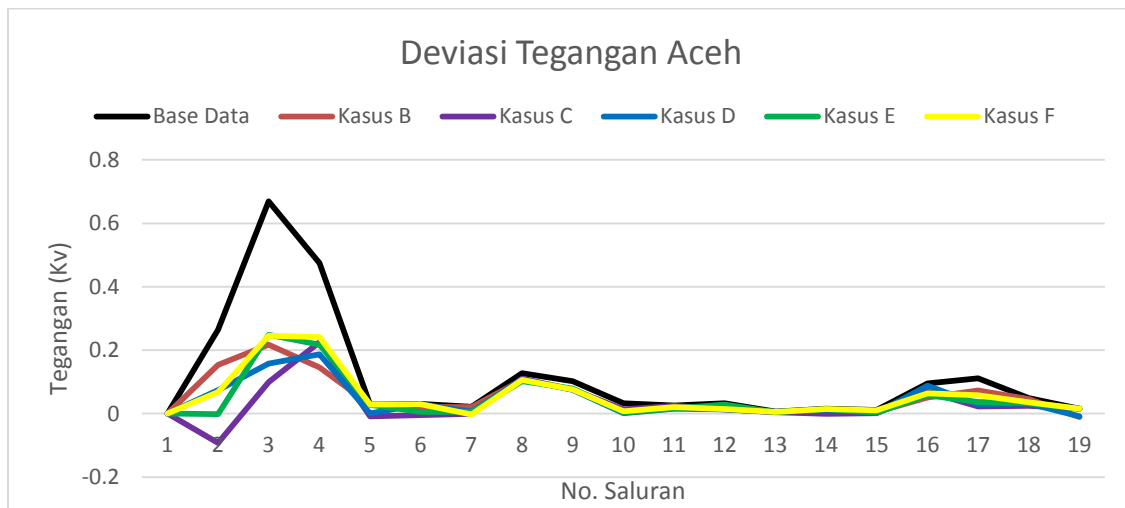
Deviasi Tegangan (kV)	0.984	0.669	0.828	0.896	1.037
Jumlah Kapasitas Kapasitor (MVAR)	27.32	35.19	30.17	28.77	25.72

Pada tabel diatas dapat dianalisa bahwa dengan optimasi yang dilakukan menghasilkan kasus C yang memiliki nilai optimasi atau fungsi normalisasi yang terkecil. Tetapi untuk mendapatkan nilai rugi daya aktif yang terendah maka menggunakan optimasi pada kasus B dimana pembobotan $w_1 = 0,7$ yang merupakan pembobotan lebih terhadap rugi daya aktif digunakan sehingga menghasilkan rugi daya aktif yang terendah juga. Melalui kasus C nilai deviasi tegangan juga paling kecil dimana pembobotan $w_2 = 0,7$ yang merupakan pembobotan lebih terhadap deviasi tegangan maka menghasilkan deviasi tegangan yang paling rendah pula.

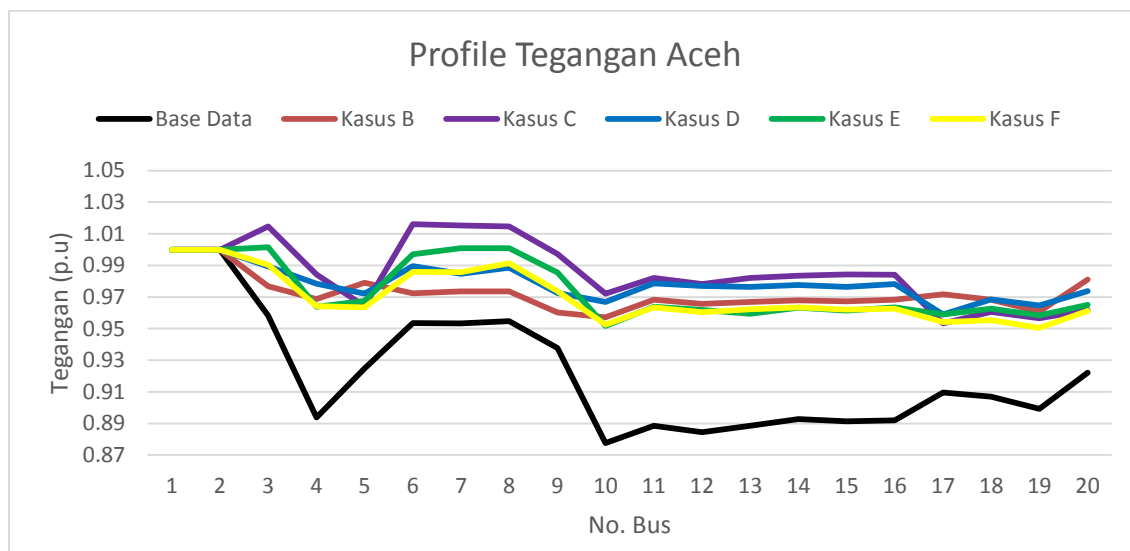
Tabel diatas juga menunjukkan dengan nilai pembobotan yang sama yaitu $w_1 = 0,5$ dan $w_2 = 0,5$ tetapi melalui jumlah kapasitor yang berbeda pada kasus D, E, dan F maka fungsi optimasi yang paling optimal pada jumlah kapasitor 5 dan 15. Begitu juga dengan rugi daya aktif yang paling minimal pada kasus D dimana dapat berpengaruh pada investasi atau biaya pembangkitan pada sistem yang digunakan.



Gambar 15 Perbandingan rugi daya kasus A, B, C, D, E, dan F pada sistem PT. Semen Indonesia Aceh



Gambar 16 Perbandingan deviasi tegangan kasus A, B, C, D, E, dan F pada sistem PT. Semen Indonesia Aceh



Gambar 17 Perbandingan profile tegangan kasus A, B, C, D, E, dan F pada sistem PT. Semen Indonesia Aceh

VI. KESIMPULAN

Dari hasil simulasi dan analisa dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Metode yang paling efektif dalam menentukan nilai dan lokasi kapasitor untuk memperoleh rugi daya aktif dan deviasi tegangan adalah metode $w_1 = 0,3$ dan $w_2 = 0,7$. Hal tersebut didasari oleh fungsi normalisasi antara rugi daya aktif dan deviasi tegangan yang diperoleh paling minimal.
2. Pada basis sistem 33 bus IEEE, terdapat rugi daya aktif sebesar 202,7 watt dan pada basis sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh terdapat rugi aktif sebesar 1118,9 kW. Dengan pemasangan kapasitor bank menggunakan metode *particle swarm optimization* diperoleh perbaikan rugi daya aktif yang sangat optimal. Sehingga, rugi daya aktif pada sistem menjadi sangat minimal yakni sebesar 139.82 kW pada sistem 33 bus IEEE dan 640.01 kW pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh.
3. Pada basis sistem 33 bus IEEE, terdapat deviasi tegangan sebesar 1760,738 volt dan pada basis sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh terdapat deviasi tegangan sebesar 2114,058 volt. Dengan pemasangan kapasitor bank menggunakan metode *particle swarm optimization* diperoleh perbaikan deviasi tegangan yang sangat optimal. Sehingga, deviasi tegangan pada sistem menjadi sangat minimal yakni sebesar 860.6 volt pada sistem 33 bus IEEE dan 669,1 volt pada sistem kelistrikan PT. Semen Indonesia Aceh.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Imran, Mohamed dan Kowsalya, "A New Power System Reconfiguration Scheme for Power Loss Minimization and Voltage Profile Enhancement Using Fireworks Algorithm", ELSEVIER Jurnal, 2014.
- [2] K. A. Dongre dan A. P. Bhagat, "Power Flow Analysis Using Optimal Power Flow Method", IEEE Conference, 2015.
- [3] Leeton, D Uthitsunthorn "Power Loss Minimization Using Optimal Power Flow Based on Particle Swarm Optimization", IEEE Jurnal, 2007.
- [4] Wanxing Sheng, Ke-yan Liu, dan Sheng Cheng "Optimal Power Flow Algorithm and Analysis in Distribution System Considering Distributed Generation", IETDL Jurnal, 2014
- [5] Anam, Sjamsjul, "Sistem Distribusi Tenaga Listrik Presentasi", ITS, Surabaya, 2006.
- [6] Stephan dan Adi Soeprianto, "Rekonfigurasi Jaring Distribusi untuk meminimalkan Kerugian daya menggunakan PSO", Presentasi SITIA-2011 Teknik Elektro-ITS
- [7] Maurice.Clerc@WriteMe.com "PSO mini tutorial" 24 April 2002.
- [8] Reyes-Sierra, Margarita dan Carlos A. Coello Coello, "Multi-Objective Particle Swarm Optimizers". International Journal of Computational Intelligence Research. Mexico, 2006